

Analiza jakościowa sygnałów telemetrycznych w oparciu o dane zgromadzone przez dedykowaną aplikację mobilną

Damian Wasąg*, Małgorzata Plechawska - Wójcik

Politechnika Lubelska, Instytut Informatyki, Nadbystrzycka 36B, 20-618 Lublin, Polska

Abstrakt. Artykuł prezentuje analizę wartości pulsu człowieka w sytuacji wysiłku fizycznego oraz odpoczynku z podziałem na dwie grupy wiekowe oraz płeć. Pomiary wykonano przy użyciu aplikacji mobilnej oraz ciśnieniomierza nadgarstkowego. Badano dokładność pomiaru telefonem względem ciśnieniomierza oraz istotność statystyczną różnic pomiędzy grupami wiekowymi, płcią oraz wykonywaną czynnością. Niedokładność pomiarowa waha się od 4 do 12 %. Aplikacja mobilna dokładnie odwzorowuje puls podczas odpoczynku.

Słowa kluczowe: puls, tętno, aplikacja mobilna

* Autor do korespondencji.

Adres e-mail: wasag.damian@gmail.com

Qualitative analysis of telemetry signals based on data gathered by dedicated mobile application

Damian Wasąg*, Małgorzata Plechawska - Wójcik

Institute of Computer Science, Lublin University of Technology, Nadbystrzycka 36B, 20-618 Lublin, Poland

Abstract. The paper presents the analysis of the human heartbeat value under the physical exercise and rest condition. The test group was divided into four groups regarding age and sex. Measurements were performed using a mobile application and a blood pressure monitor. The phone's accuracy with respect to the blood pressure gauge was measured and the statistical significance of differences between age groups, sex and activity was also computed. Measurement inaccuracy varies from 4 to 12%. The mobile application accurately reproduces the pulse during rest.

Keywords: pulse; heart rate; mobile application

*Corresponding author.

E-mail address: wasag.damian@gmail.com

1. Wprowadzenie

1.1. Badania literaturowe

Sygnał telemetryczny reprezentuje informację, która została zmierzona oraz jest przesyłana do innego modułu. De la Cruz w artykule [1] opisuje w jaki sposób sygnały telemetryczne są wykorzystywane do pozyskiwania danych biomedycznych pacjentów. Szczególną uwagę poświęca opisowi znaczenia częstotliwości pracy serca w kontekście wcześniejszego diagnozowania komplikacji zdrowotnych.

W następnej pracy [2] udowodniono, sygnału telemetryczny ułatwia badanie pacjenta. Autor zastosował zminiaturyzowany implant. Jego zadaniem jest monitorować czynności życiowe osoby badanej. Urządzenie nie zaburza normalnego funkcjonowania pacjenta oraz umożliwia uzyskanie informacji, np. o aktualnym ciśnieniu krwi.

Töpfer w swojej pracy badawczej [3] wykorzystuje telemetrię do przeprowadzenia terapii resynchronizującej. Opiera się ona na leczeniu wysokiej niewydolności serca.

Badacz wprowadza do serca dwie elektrody, które mają za zadanie zapewnić równomierną pracę organu przez pobudzanie komórek serca w odpowiednich odstępach czasu. Podkreśla, że szeroko zakrojona analiza otrzymanych wyników pozwala uzyskać szczegółową informację o zaburzeniach pracy konkretnych elementów serca.

Badanie tętna najczęściej opiera się na szacowaniu liczby uderzeń serca na minutę. Ponadto można badać również siłę uderzeń. Wówczas sytuacja pożądana to taka, w której różnica pomiędzy siłą kolejnych uderzeń oscyluje wokół zera. Przedmiotem badań może być również wypełnienie tętnicy oraz napięcie związane z ciśnieniem krwi. W tej pracy naukowej zwrócono uwagę przede wszystkim na częstotliwość uderzeń serca.

Warto zadać sobie pytanie, jak dokonać pomiaru za pomocą telefonu komórkowego? Odpowiedź ułatwia analiza artykułu [4], który obrazuje badanie tętna u biegaczy przy pomocy specjalnie stworzonej do tego celu aplikacji. Dzieło przedstawia jak wyliczyć oraz z jakich właściwości sygnału należy skorzystać, aby otrzymać wynik pulsu. Autor nie uwzględnił niedokładności pomiaru, gdyż nie jest on

porównany z żadnym powszechnie stosowanym urządzeniem badającym puls. Mimo wszystko powyższa praca jest charakterystyczna pod względem prezentacji wyników. Prezentuje pracę serca pod wpływem wysiłku fizycznego przy pomocy wykresów.

Popularność aplikacji o charakterze medycznym jest stosunkowo wysoka. W artykule [5] przedstawiono przegląd dostępnych w 2015 roku aplikacji na smartfony z systemem Android, które ułatwiają monitorowanie oraz rejestrowanie sygnałów biomedycznych pacjentów. Na podstawie jednej z tabel w powyższym artykule można wywnioskować, że zainteresowanie tego typu aplikacjami jest stosunkowo wysokie. Sklep Google odnotował nawet 500000 instalacji jednej z nich. W swoich rozważaniach autor zaznaczył, że rozwój powinien zmierzać nie tylko w kierunku zmniejszenia błędu pomiarowego, ale również w stronę automatyzacji diagnozowania zaburzeń sercowo-naczyniowych.

Eksperyment pomiaru pulsu można przeprowadzić przy użyciu odpowiedniego czujnika [6]. Autor zaznaczył, że proces badania opiera się o technikę fotometryczną. Zmiany pulsu są wykrywane za pomocą detektora, który wykorzystuje światło podczerwone do śledzenia objętości przepływu krwi w tkankach. Twórca zaleca przeprowadzenie eksperymentu na końcówkach palców lub płatach usznych, gdyż w tych miejscach krew ma największe stężenie. W związku z tym błąd pomiarowy będzie niższy.

Technika fotometryczna jest powszechnie wykorzystywana w aplikacjach o charakterze medycznym. Przykładem jest artykuł [7], który prezentuje przetwarzanie obrazu paska testowego do pomiaru glukozy we krwi. Na podstawie przeprowadzonych badań [8], można stwierdzić, że metoda jest bezpieczna. Reprezentuje doskonałą, nieinwazyjną alternatywę dla badań obarczonych ryzykiem wystąpienia komplikacji. Szacowanie tętna w oparciu o nasycenie barw wykorzystał również Sukaphat [9]. Autor wyróżnił się sposobem przeprowadzenia pomiaru. Zrezygnował z dodatkowego czujnika. Jego miejsce zajęła soczewka aparatu wbudowana w telefon komórkowy. Warto wspomnieć, że to rozwiązanie wymaga podświetlenia obszaru ciała za pomocą diody LED wbudowanej w telefon. W swoich rozważaniach badał poziom tętna u 10 osób pomiędzy 20, a 22 rokiem życia w pozycji stojącej. Twórca nie dzielił grupy badawczej pod względem wysiłku fizycznego oraz płci. Ograniczył również czas trwania badania do 10 sekund. Aplikacja mobilna wykorzystana do badania opiera szacowanie poziomu tętna o nasycenie barw RGB. Autor zaprezentował histogramy nasycenia barw, z których wynika, że kanał czerwony najdokładniej odwzorowuje zmiany poziomu tętna. Badania dowodzą, że rozbieżność wyników pomiędzy danymi uzyskanymi z aplikacji mobilnej, a wynikami EKG waha się w okolicach 0,57%.

Na rezultat pomiaru ma wpływ również wybrany do badania smartfon. Dowodzi tego Guede – Fernández [10]. Autor uzyskał niższe wartości błędów dla badań przeprowadzonych przy użyciu telefonu Samsung S5 niż dla Motoroli MX. Telefony różnią się przede wszystkim lampą błyskową i rozdzielczością aparatu.

Samsung wyposażony jest w aparat 16 Mpx i standardową lampę błyskową, a Motorola posiada 13 Mpx oraz dwustopniową lampę błyskową.

W powyższych artykułach czas badania był ograniczony. Przykładem urządzenia realizującego pomiar w sposób ciągły są okulary pomiaru pulsu [11]. Zasada ich działania jest podobna do aplikacji mobilnej. Również wykorzystują podświetlenie za pomocą diody LED i detektora, która umożliwia zbieranie informacji. Różnica polega na tym, że proces badawczy opiera się na przepływie krwi przez tętnicę twarzową. Autorzy zaznaczyli, że ruch głową oraz mimika twarzy prowadzi do zakłóceń dokładności badania.

Pomiar pracy serca jest istotnym elementem urządzeń reprezentujących koncepcję Internet of Things. Prezentuje to jeden z artykułów [12]. Ukazano tam urządzenie, które wysyła dane do telefonu komórkowego. Aplikacja przetwarza rezultaty pomiaru i prezentuje je w formie wykresu podobnego do EKG. Oprócz tego, dane gromadzone są na zewnętrznym serwerze tak by specjalista zajmujący się leczeniem pacjenta, mógł w dowolnym momencie interpretować wyniki.

Lucena w swoim artykule [13] zwrócił uwagę na fakt, że rozwój aplikacji mobilnych o charakterze medycznym ma szczególne znaczenie dla miejsc, gdzie dostęp do specjalistycznej pomocy medycznej jest ograniczony. Twórca zaznacza, że aplikacje ułatwiają wcześniejsze diagnozowanie chorób. Autor zbadał nie tylko tętno. Zastosowane czujniki oraz mikrokontroler umożliwiły mu badanie temperatury ciała oraz kontroli objętości krwi w tkankach. Mimo wszystko eksperyment przeprowadzono tylko na kilku mężczyznach w wieku od 22 do 52 lat. Grupa badawcza w tym przypadku powinna być znacznie większa i obejmować również kobiety.

W żadnej z prac badawczych nie porównywano pomiarów tętna podczas wysiłku fizycznego oraz w sytuacji minimum godzinnego odpoczynku po obciążeniu organizmu. Wyników pomiarowych pulsu nie zestawiano z rezultatami ciśnieniomierza zakładanego na nadgarstek. Pominęto analizę zapotrzebowania na tego typu rozwiązania techniczne. Żaden z autorów przytoczonych prac nie próbował analizować wyników pod kątem równomiernej pracy serca. Ponadto, nie badano jednocześnie wpływu płci na puls w dwóch grupach wiekowych.

1.2. Hipoteza badawcza

Niniejszy artykuł stawia tezę, że istnieje możliwość realizacji analizy tętna człowieka w oparciu o dane zgromadzone przez dedykowaną aplikację mobilną. Nie ulega wątpliwości, że pomiar obarczony jest błędem. W związku z tym warto zadać kilka pytań. Przede wszystkim, jakim przekłamaniem pomiarowym obarczona jest metoda badawcza, której użyto w tych badaniach. W jakim stopniu otrzymane wyniki będą miarodajnym źródłem informacji? Czy aplikacja mobilna oszacuje puls z jednakowym marginesem błędów dla różnych czynności? Czy rozwój tego typu aplikacji jest potrzebny z punktu widzenia użytkowników? Jak zmienia się liczba skurczów serca dla aplikacji mobilnej, a jak dla ciśnieniomierza wyposażonego

w funkcję pomiaru pulsu? Badania należy przeprowadzić w różnych grupach wiekowych oraz pod wpływem różnych czynności, takich jak odpoczynek oraz wysiłek fizyczny. Wszystkie te pytania zależą od jednej zasadniczej kwestii: czy aplikacja z akceptowalnym poziomem błędów umożliwi oszacowanie pulsu?

2. Materiały i metody

2.1. Sygnały telemetryczne

Pojęcie określane jest mianem mierzalnej wielkości fizycznej, która może się zmieniać w przedziałach czasowych. Oprócz tego sygnał telemetryczny jest silnie związany z telekomunikacją, gdyż opiera się na przesyłaniu różnych pomiarów na różne odległości. W związku z tym reprezentuje informację, która została w pewien jasno określony sposób zmierzona oraz jest przesyłana do innego modułu. Przesyłanie może odbywać się drogą przewodową lub bezprzewodową. Uzyskane wartości mogą być odwzorowane w sposób:

- analityczny,
- liczbowy,
- graficzny.

2.2. Tętno

Szczeklik w jednej ze swoich prac [14] stwierdza, że tętno jest rytmiczna zmianą szerokości tętnic, która odpowiada skurczom serca. Są one uwarunkowane wtłaczaniem porcji krwi do aorty w lewej komorze organu. Analizując jeden z artykułów [15] widać, że zasadnicze znaczenie na wartość pulsu ma wiek. W powyższej pracy przebadano 12 517 osób w wieku od 25 do 87. Jednym z elementów badań było poznanie wartości pulsu u podmiotów badawczych. Okazało się, że osoby starsze miały niższy puls niż uczestnicy badania reprezentujący młodsze pokolenie. W porównaniu z innym artykułem [16], który miał na celu między innymi detekcję wartości tętna u dzieci w wieku od 2 miesięcy do 18 lat widać już znaczącą różnicę, gdyż wyniki oscylowały od 80 do nawet 140 uderzeń serca na minutę. Na podstawie powyższych artykułów sporządzono zestawienie, które przedstawia średnią wartość pulsu dla przedstawicieli różnych grup wiekowych (Tabela 1).

Tabela 1. Wiek, a liczba skurczów serca

Lp	Wiek	Liczba uderzeń na minutę
1	plód	110-115
2	niemowlę	130
3	dziecko	100
4	młodzież	85
5	osoba dorosła	70
6	osoba starsza	60

Liczba uderzeń serca nie zależy wyłącznie od wieku. Wpływ na nią mają często inne niezależne czynniki. Między innymi: płeć, kondycja, przebyte choroby, ogólny stan zdrowia, emocje, pora dnia, w której dokonany zostanie pomiar czy nawet odłożenia ciała.

3. Aplikacja mobilna

Dedykowana aplikacja mobilna jest przeznaczona dla urządzeń z systemem Android 6.0 Marshmallow. Jej głównym zadaniem jest oszacowanie wartości tętna oraz zapisanie otrzymanego wyniku. Realizacja tego przedsięwzięcia wymagała deklaracji w pliku Manifest.xml wykorzystania diody LED oraz kamery (Przykład 1).

Przykład 1. Deklaracja uprawnień aplikacji

```
<uses-feature android:name="android.hardware.camera"/>
<uses-feature android:name="android.hardware.camera.flash"/>
<uses-permission android:name="android.permission.CAMERA"/>
```

W odpowiednim miejscu w kodzie aplikacji dokonano inicjalizacji obiektu kamery oraz diody. Następnie w metodzie obsługującej przechwytywanie obrazu z kamery dostarczonej przez klasę adaptera kamery wywoływano funkcję, która na podstawie przekazanej tablicy bajtów obrazu wyliczała nasycenie kanału czerwonego. Otrzymany wynik porównywano z wcześniejszymi rezultatami. Odnotowanie wzrostu powoduje zwiększenie oszacowanej wartości o 1. Pomiar trwa 40 sekund. Wartość liczbową tętna szacowana jest na podstawie wszystkich klatek zdjęciowych od momentu rozpoczęcia badania do jego zakończenia. Ponadto zapamiętywane są wyniki w odstępach jednej sekundy, które wykorzystywane są tylko w celach prezentacyjnych (Rys. 2). Do analizy wyników brany jest pod uwagę rezultat uzyskany z pomiaru na przestrzeni 40 sekund.

Rys. 1. Formularz zapisu wyniku

Po otrzymaniu wyniku konieczne było jego zapisanie. Na rysunku 1 przedstawiono formularz, w którym osoba badana zobowiązana była wybrać swoją płeć, grupę wiekową oraz czynność w jakiej dokonano pomiaru. Po kliknięciu przycisku zapisz wynik do wbudowanej bazy danych SQLite dodawany jest rekord reprezentujący zrealizowany pomiar oraz wszystkie wyniki jednosekundowych rezultatów. Dzięki temu możliwa jest prezentacja zmian pulsu podczas badania.



Rys. 2. Szczegółowe informacje o pomiarze

4. Procedura badawcza

Badania zostały przeprowadzone przy pomocy dwóch odrębnych urządzeń. Pierwsze to ciśnieniomierz nadgarstkowy salva tec MD 14942 (Rys. 3), który oprócz pomiarów ciśnienia tętniczego, w czasie 35 sekund, wykonuje również banie pulsu. Producent zaznacza, że maksymalny błąd pomiarowy urządzenia oscyluje wokół 5%.



Rys. 3. Ciśnieniomierz z funkcją mierzenia pulsu

Wyniki z tego urządzenia będą porównywane z rezultatami uzyskanymi z drugiego niezależnego pomiaru, który zostanie zrealizowany przy pomocy telefonu HTC Desire 825 (Rys. 4) z zainstalowaną dedykowaną aplikacją mobilną przeznaczoną do tego celu. Smartfon wyposażony jest w system operacyjny Android 6.0 Marshmallow. Do eksperymentu wykorzystano aparat umieszczony na tylnej obudowie, gdyż charakteryzuje się dokładniejszymi parametrami: 13 Mpx matrycą o rozdzielczości 4128 x 3096 px oraz standardową lampą błyskową.



Rys. 4. Komponenty niezbędne do prawidłowego działania aplikacji mobilnej

Grupa badawcza została wybrana w sposób losowy oraz podzielona na cztery podgrupy pod względem: wieku (dorośli i dzieci) oraz płci. Dzieci reprezentowały osoby w wieku 7 lat, a dorośli to osoby 23-letnie. Na każdą podgrupę przypadało po 5 osób. W sumie zostało przebadanych 20 osób. Badanie odbywało się w temperaturze pokojowej w pomieszczeniu. Procedura badawcza została podzielona na dwa niezależne pomiary. Pierwszy wykonany został bezpośrednio po wysiłku fizycznym, drugi natomiast po upływie około godziny w sytuacji odpoczynku. Wysiłek fizyczny obejmował bieg na dystansie 50 metrów w jak najkrótszym czasie. Natomiast odpoczynek polegał na tym, że badany godzinę czasu spędził siedząc na krześle w wygodnej dla niego pozycji. Badanie odbywało się w pozycji stojącej. Osoba badana na nadgarstku prawej ręki miała założony ciśnieniomierz (Rys. 6). Jednocześnie palcem wskazującym tej samej ręki zakrywała całą soczewkę aparatu wraz diodą na czas 40 sekund (Rys 5). Z kolei na ekranie telefonu oraz ciśnieniomierza ukazywał się wynik pomiaru.



Rys. 5. Ułożenie palca wskazującego na diodzie LED oraz soczewce aparatu



Rys. 6. Pomiar przy użyciu ciśnieniomierza oraz telefonu

5. Analiza wyników

Tabela 2. Zestawienie wyników pomiarowych dla grupy wiekowej dzieci w sytuacji wysiłku fizycznego

		Wysiłek fizyczny		
		kobieta	mężczyzna	razem
Aplikacja mobilna	mediana	111	111	111
	dominanta	111	brak	111
	średnia arytmetyczna	110,4	111	110,7
	wariancja	3,04	13,2	16,42
	odchylenie standardowe	1,74	3,63	4,05
Ciśnieniomierz	mediana	125	125	125
	dominanta	124	125	125
	średnia arytmetyczna	125,6	125	125,3
	wariancja	2,64	11,2	7,01
	odchylenie standardowe	1,62	3,35	2,65
średni błąd bezwzględny		15,2	14	14,6
średni błąd względny		12,08%	11,21%	11,65%

Tabela 3. Zestawienie wyników pomiarowych dla grupy wiekowej dzieci w sytuacji odpoczynku

		Odpoczynek		
		kobieta	mężczyzna	razem
Aplikacja mobilna	mediana	94	93	93
	dominanta	94	93	94
	średnia arytmetyczna	91,4	91,8	91,6
	wariancja	13,44	6,16	9,7
	odchylenie standardowe	3,67	2,48	3,11
Ciśnieniomierz	mediana	91	89	90
	dominanta	92	89	89
	średnia arytmetyczna	90,8	89,6	90,2
	wariancja	1,36	0,64	1,36
	odchylenie standardowe	1,17	0,8	1,17
średni błąd bezwzględny		4,2	3,8	4
średni błąd względny		4,63%	4,24%	4,44%

W tabelach 1 i 2 zawarto zbiorcze zestawienie uzyskanych wyników dla grupy wiekowej dzieci w sytuacji wysiłku fizycznego oraz odpoczynku. Analizując wyniki widać przede wszystkim, że średnia arytmetyczna z uzyskanych pomiarów, bez względu na płeć i sposób w jaki dokonano badania, jest wyższa w sytuacji wysiłku fizycznego. Oprócz tego można zauważyć, że zróżnicowanie wyników dla urządzenia pomiarowego na nadgarstek jest niższe, bez względu na to, czy analizujemy rezultaty konkretnej płci, czy nie uwzględniamy tego kryterium. Należy zaznaczyć, że średni błąd aplikacji mobilnej względem ciśnieniomierza jest większy o około 7% w sytuacji wysiłku fizycznego. Uzyskane wyniki z wysiłku fizycznego i odpoczynku

w grupie wiekowej dzieci zbadano testem t - Studenta na istotność różnic statystycznych pomiędzy płciami oraz urządzeniami pomiarowymi. Do analizy statystycznej wybrano poziom istotności równy $p = 0,01$. Na podstawie uzyskanych wyników autor stwierdza, że płeć ma marginalne znaczenie na rezultaty badań. Natomiast różnice pomiędzy wynikami z aplikacji mobilnej i ciśnieniomierza są istotne statystyczne w sytuacji wysiłku fizycznego w tej grupie wiekowej.

Tabela 4. Zestawienie wyników pomiarowych dla grupy wiekowej dorosłych w sytuacji wysiłku fizycznego

		Wysiłek fizyczny		
		kobieta	mężczyzna	razem
Aplikacja mobilna	mediana	89	76	89
	dominanta	89	brak	89
	średnia arytmetyczna	90,6	75,6	83,1
	wariancja	5,84	3,44	50,6
	odchylenie standardowe	2,42	1,85	7,11
Ciśnieniomierz	mediana	98	84	92
	dominanta	98	84	98
	średnia arytmetyczna	99	84,4	91,7
	wariancja	1,6	1,04	54,17
	odchylenie standardowe	1,26	1,02	7,36
średni błąd bezwzględny		8,4	8,8	8,6
średni błąd względny		8,5%	10,43%	9,46%

Tabela 5. Zestawienie wyników pomiarowych dla grupy wiekowej dorosłych w sytuacji odpoczynku

		Odpoczynek		
		kobieta	mężczyzna	razem
Aplikacja mobilna	mediana	69	62	66
	dominanta	68	61	61 i 68
	średnia arytmetyczna	69,2	62,2	65,7
	wariancja	1,36	1,36	13,61
	odchylenie standardowe	1,17	1,17	3,69
Ciśnieniomierz	mediana	72	65	69,5
	dominanta	72	65	72 i 65
	średnia arytmetyczna	72,4	65,6	69
	wariancja	1,04	1,84	13
	odchylenie standardowe	1,02	1,36	3,61
średni błąd bezwzględny		3,2	3,4	3,3
średni błąd względny		4,42%	5,17%	4,8%

Analizując wyniki z tabel 3 i 4, które przedstawiają zbiorcze zestawienie rezultatów pomiarowych dla grupy wiekowej dorosłych, można zauważyć, że płeć wpływa na wyniki. W obu czynnościach średnia wartość pulsu u kobiet była wyższa niż u mężczyzn. Różnica pomiędzy płciami jest najlepiej widoczna w przypadku wysiłku fizycznego. Średnia wartość dla kobiet uplasowała się na poziomie 90,6, zaś u mężczyzn osiągnięto wartość 75,6 uderzeń serca na minutę. Analizując zmiany niedokładności pomiaru w dwóch różnych sytuacjach, widać podobieństwo do wyników dzieci. U dorosłych również odnotowano wyższy błąd dla wysiłku fizycznego. Średnia wartość niedokładności, w tej czynności osiąga 8,6 uderzeń serca, natomiast w sytuacji odpoczynku jest to 3,3. Powyższa różnica została uwidoczniła za pomocą błędu względnego, który podczas wysiłku fizycznego wynosił 9,46% a dla odpoczynku 4,8%. Wyniki dorosłych zbadano

testem t – Studenta na istotność różnic statystycznych pomiędzy płciami oraz urządzeniami pomiarowymi. Otrzymano rezultaty, na podstawie których autor stwierdza że zarówno płeć jak i urządzenie pomiarowe ma istotny wpływ na wartość pulsu zarówno w sytuacji odpoczynku jak i wysiłku fizycznego.

Porównując wyniki dorosłych i dzieci, widać, że wraz z wiekiem puls osiąga niższe wartości. Odnotowano to zarówno za pomocą aplikacji mobilnej, jak i urządzenia pomiarowego. Dla każdego z podmiotów badawczych uzyskano puls wyższy w sytuacji wysiłku fizycznego. Różnice pomiędzy płciami są widoczne tylko dla grupy wiekowej dorosłych. U dzieci nie widać znaczących rozbieżności tego kryterium. Badając dokładność odwzorowania wyników przez aplikację mobilną, widać, że aplikacja osiąga błąd pomiarowy na niższym poziomie dla sytuacji odpoczynku niż wysiłku fizycznego. Ponadto analizując niedokładność z punktu widzenia grupy wiekowej, rezultaty są dokładniejsze dla dorosłych. U dzieci średni błąd bezwzględny podczas wysiłku fizycznego wynosił aż 14,6 a dla dorosłych w identycznej sytuacji zaledwie 8,6 uderzenia serca na minutę. Analizując wyniki tylko na podstawie liczności przedziałów, widać wyraźnie, że aplikacja mobilna charakteryzuje się większą niedokładnością niż urządzenie pomiarowe.

6. Wnioski

Powyższy artykuł ma na celu analizę zmian pulsu w sytuacji wysiłku fizycznego oraz odpoczynku dla dwóch grup wiekowych: dorosłych i dzieci. W interpretacji przeprowadzonych badań uwzględniono wyniki rozróżniając płeć badanych osób. Oprócz tego oszacowano na ile istotny jest błąd pomiaru dla wyników z aplikacji mobilnej i ciśnieniomierza.

Podczas przeprowadzania badań oraz ich późniejszej analizy nie uwzględniono kilku czynników, które mogą również mieć wpływ na wynik badania. Należą do nich:

- stan emocjonalny,
- różny poziom zmęczenia,
- stopień niewyspania,
- temperatura ciała osób badanych.

Na podstawie uzyskanych rezultatów można stwierdzić, że aplikacja mobilna dokładniej odwzorowuje pomiary u osób dorosłych niż u dzieci. Oprócz tego kluczowe znaczenie ma tutaj fakt, w jakiej czynności dokonano pomiaru. Szacowanie pulsu obarczone jest niższą niedokładnością w sytuacji odpoczynku niż wysiłku fizycznego. Dotyczy to zarówno dorosłych jak i dzieci. W związku z tym metoda pomiaru pulsu nie jest odpowiednia dla sportowców.

Badanie obarczone jest zbyt dużą niedokładnością, która zakłóca pomiar. Przedstawiona metoda badawcza jest wrażliwa na nadmierny nacisk na soczewkę aparatu. Niestosowanie się do procedury badawczej prowadzi albo do przerywania badania poprzez brak wykrycia zmian pulsu lub zawyżonego wyniku.

Prezentowana metoda badawcza mimo wad posiada również kilka istotnych zalet. Przede wszystkim jest tanim sposobem na oszacowanie wartości pulsu, gdyż pomiar może być zrealizowany przy użyciu telefonu. Oprócz tego metoda jest nieinwazyjna. Nie powoduje żadnych niekorzystnych zmian w organizmie badanych osób. Ponadto według autora aplikacja nadaje się do kontroli pulsu do własnych potrzeb dla osób zdrowych.

Literatura

- [1] B. De la Cruz, „Transmission of ECG signals with android mobile system via bluetooth,” w *Health Care Exchanges (PAHCE)*, Vina de Mar, Chile, 2015.
- [2] J. Weidenmüller, „Telemetric multi-sensor system for medical applications - The approach,” *Technisches Messen*, styczeń 2017.
- [3] A. Töpfer, „Novel telemetric signal averaging ECG approach to determine electrical atrial and ventricular conduction delays in implantable cardioverter defibrillator patients,” *Biomedizinische Technik*, pp. 6 - 9, 30 wrzesień 2012.
- [4] K. J. Hunt i A. J. Hunt, „Feedback control of heart rate during outdoor running: A smartphone implementation,” *Biomedical Signal Processing and Control*, pp. 90-97, kwiecień 2016.
- [5] S. Ouhbi, „Mobile personal health records for cardiovascular patients,” w *Third World Conference on Complex Systems (WCCS)*, Marrakech, Maroko, 2015.
- [6] N. A. Khan, „Real Time Monitoring of Human Body Vital Signs using Bluetooth and WLAN,” *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, pp. 210 - 216, październik 2016.
- [7] S. Singhal, „Smartphone-based colorimetric detection to measure Blood Glucose Levels,” w *Eighth International Conference on Contemporary Computing (IC3)*, Noida, Indie, 2015.
- [8] O. I. Bilyy, „Noninvasive Optical Sensor for Tissue Spectroscopic,” w *European Conference on Biomedical Optics*, Munch, Niemcy, 2009.
- [9] S. Sukaphat, „Heart rate measurement on Android platform,” w *13th International Conference on Electrical Engineering/Electronics, Computer, Telecommunications and Information Technology*, Chiang Mai, Tajlandia, 2016.
- [10] F. Guede – Fernández, „Real time heart rate variability assessment from Android smartphone camera photoplethysmography: Postural and device influences,” w *37th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society*, Milan, Włochy, 2015.
- [11] N. Constant, „Pulse-Glasses: An unobtrusive, wearable HR monitor with Internet-of-Things functionality,” w *12th International Conference on Wearable and Implantable Body Sensor Networks*, Cambridge, USA, 2015.
- [12] G. Xiaoqiang, „An ECG Monitoring and Alarming System Based On Android Smart Phone,” *Communications and Network*, styczeń 2013.
- [13] S. E. Lucena, „ECG monitoring using Android mobile phone and Bluetooth,” w *International Instrumentation and Measurement Technology Conference*, Piza, Włochy, 2015.
- [14] A. Szczeklik, *Choroby wewnętrzne. Przyczyny, rozpoznanie i leczenie*, tom I, Medycyna Praktyczna, 2005.
- [15] H. Tomiyama, „Influences of age and gender on results of noninvasive brachial-ankle pulse wave velocity measurement - A survey of 12 517 subjects,” *Atherosclerosis*, marzec 2003.
- [16] A. Iliff i A. Lee, „Pulse rate, respiratory rate and body temperature of children between two months and eighteen years of age,” *Child Development*, pp. 237 - 245, grudzień 2010

